

Выводы

Из графиков видно, что при увеличении пути резания касательная сила резания и коэффициент затупления увеличивается. График роста касательной составляющей силы резания близок к графику классической кривой износа. Данные, полученные в результате исследования, могут быть использованы для расчета сил и мощности резания при переработке древесины на фрезерно-брусующих станках.

УДК 674.05

А.А. Гришкевич, В.С. Вихренко, В.Н. Гаранин
(БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь), garanin@wmt.by

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕФЛЕКТОРНОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА

THE CALCULATION FEATURES OF THE CONTACT SURFACES OF REFLEX MILLING TOOLS

Обработка древесины и древесных материалов методом фрезерования остается значимым технологическим процессом в столярно-строительном и мебельном производствах. Получение при этом продукции установленного качества согласно нормативно-технической документации с одновременным снижением энергетических затрат является и сегодня насущным вопросом для научных исследований. В этом направлении в настоящее время ведутся работы на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (БГТУ, г. Минск) и уже разработана конструкция фрезы сборной, которая позволяет вести исследовательские работы (благодаря возможности в конструкции инструмента изменять положение ножа относительно оси вращения (угол наклона кромки λ) и изменять передний и задние углы [1]).

Processing of wood and wood-based materials by milling is an important process in the joinery and furniture production. Getting with the product according to the established quality of technical standards while reducing energy costs and is now an urgent issue for research. In this direction is currently underway in the department of woodworking machines and tools (BGTU, Minsk) and has already developed a design team of cutters, which allows you to research (with the ability to design a tool to change the position of the blade relative to the axis of rotation (the angle of λ) and change the front and rear corners of [1]).

Рассматриваемая фреза (рис. 1) позволяет уменьшить составляющие силы резания, повысить суммарную стойкость инструмента, устранить сколы на обработанной поверхности.

Однако, как указывалось в [1], конструкция инструмента требует доработки, что ведет к необходимости проведения дополнительных теоретических расчетов, особенно в режимах ее разгона и торможения, которым и посвящена данная работа.

Представим вкратце общую расчетную схему исследуемой фрезы (рис. 1).

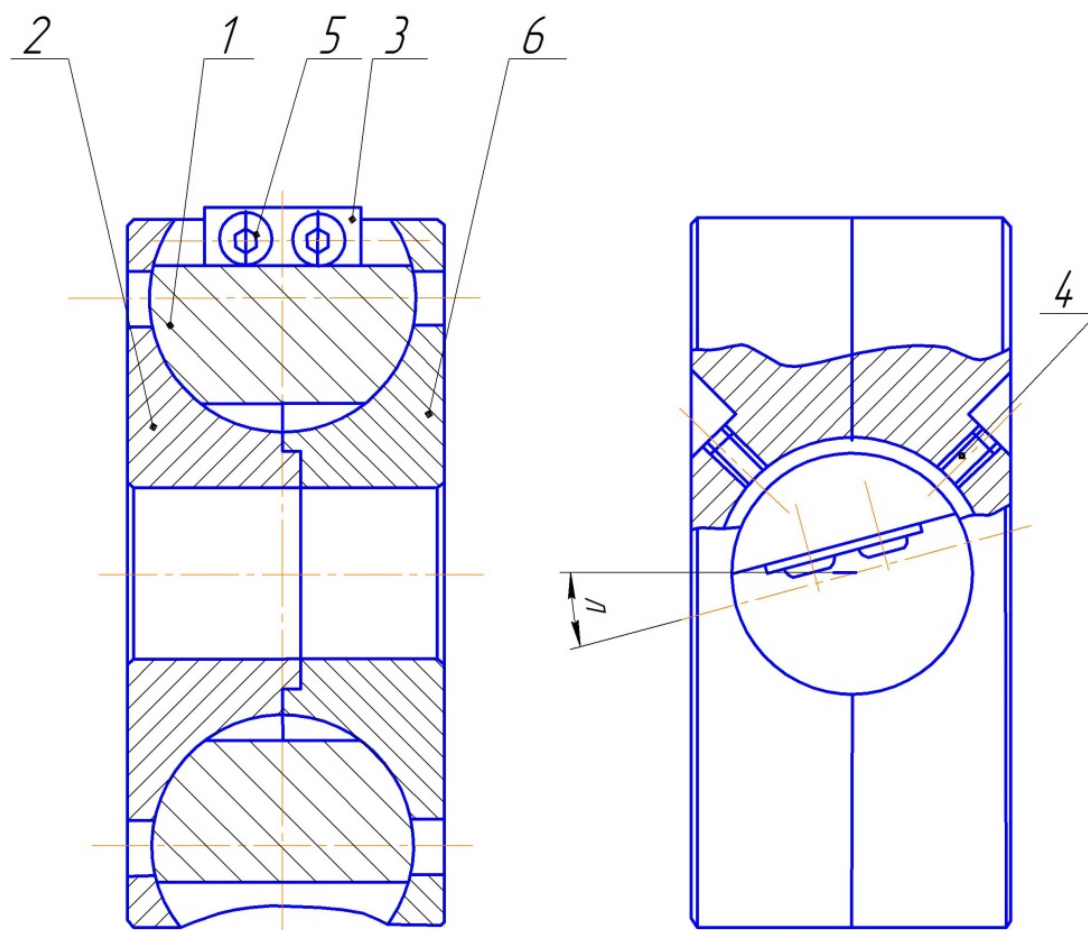


Рис. 1. Фреза сборная с изменяемыми угловыми параметрами:
 1 – сегментный узел; 2, 6 – левая и правая части корпуса фрезы; 3 – нож;
 4 – винт для фиксации сегмента; 5 – винт для фиксации ножа

Сегментный узел 1, на котором крепится нож, является частью шара, и контактирует с корпусом 2, 6 по части сферической поверхности. Ввиду этого он имеет три вращательных степени свободы относительно корпуса фрезы, что обеспечивает широкие возможности по установке ориентации ножа как для целей научных исследований, так и при использовании в производстве с целью оптимизации процессов обработки заготовок. Возможность перемещения относительно вокруг оси, проходящей через режущую кромку ножа 3 (при $\lambda = 0$), изменяя при этом передний (γ) или задний (α) углы.

Фиксация сегментных узлов в определенном положении осуществляется с помощью винтов 4. Сегментный узел, на котором фиксируется нож, имеет возможность поворота относительно корпуса вокруг своей оси на угол λ .

С целью определения условий устойчивой работы сегмента на этапах разгона/торможения фрезы или в процессе резания необходимо исследовать распределение действующих на него сил, включая силы инерции. Для этого определим координаты центра тяжести и компоненты тензора моментов инерции сегментного узла в сборе с ножом.

Так как сегментный узел симметричен относительно плоскости деления двух частей корпуса фрезы, делаем разрез по оси симметрии и разбиваем на простейшие фигуры (рис. 2), что позволяет рассчитать положение центра тяжести без использования специализированных программ.

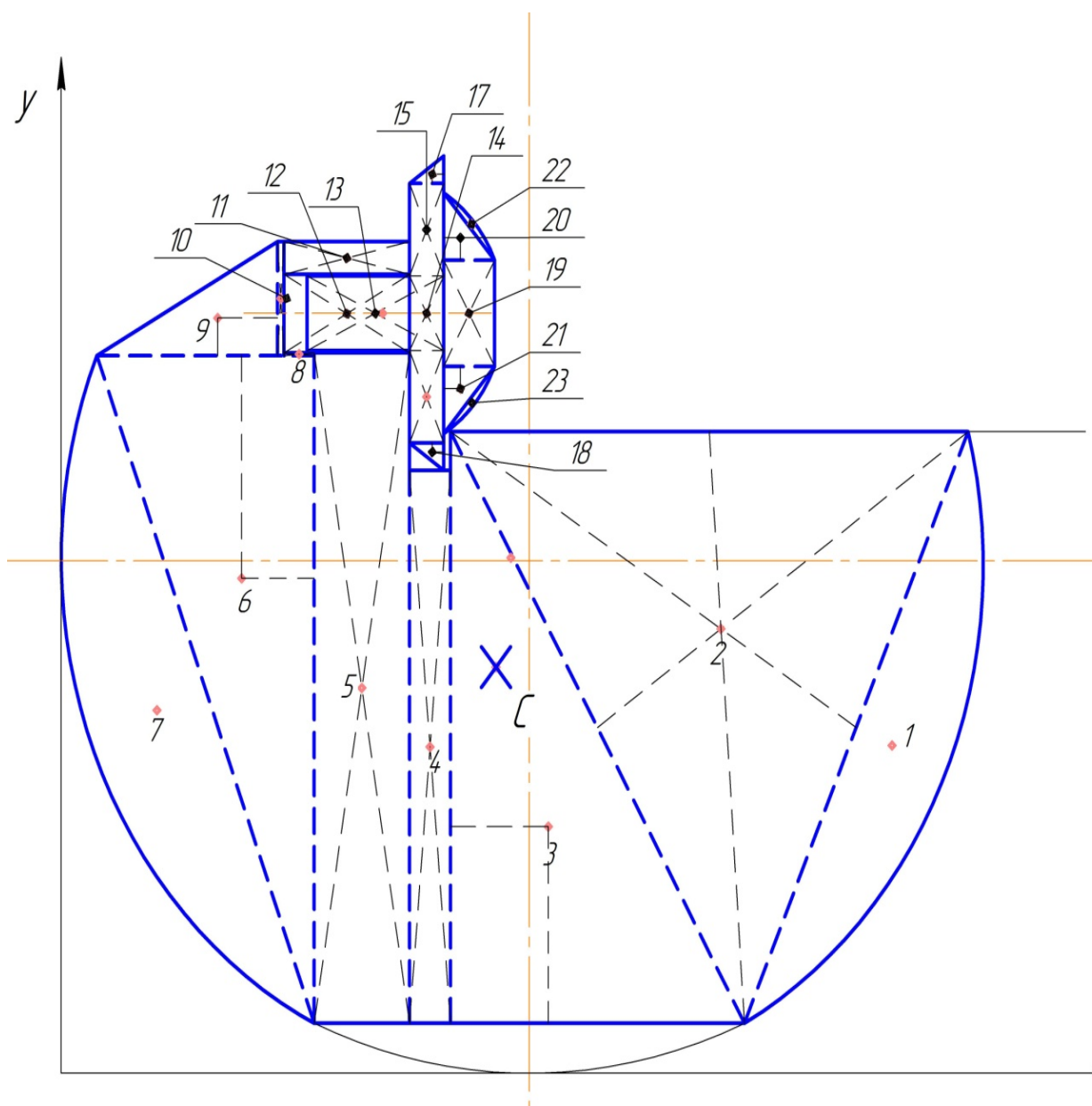


Рис. 2. Схема для расчета центра масс системы

Однако более точные результаты можно получить, если воспользоваться одной из таких программ, например SolidWorks. Для этого была построена 3D-модель сегментного узла и выполнены соответствующие вычисления. Результаты вычислений приведены ниже (рис. 3). Отметим, что на рисунках расстояния указаны в миллиметрах, тогда как в формулах и в результатах вычислений используются основные единицы системы СИ (кг, м, с).

Основная проблема при эксплуатации инструмента с подвижными элементами – это фиксация движущихся частей во время разгона. При установившейся работе инструмента такая проблема отсутствует, поскольку на сегментный узел действуют большие центробежные (нормальные) силы инерции, обеспечивающие силы трения, достаточные для стабилизации позиционирования всех элементов фрезы.

```

enter of mass: (millimeters)
X = -0.68
Y = -3.36
Z = 0.00
Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams*square millimeters)
Taken at the center of mass.
Ix = (0.98, -0.21, 0.00)    Px = 26112.07
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)   Py = 26956.43
Iz = (0.21, 0.98, 0.00)    Pz = 34689.64
Moments of inertia: (grams*square millimeters)
Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.
Lxx = 26496.34    Lxy = -1774.37    Lxz = 0.11
Lyx = -1774.37    Lyy = 34305.38    Lyz = -0.01
Lzx = 0.11        Lzy = -0.01        Lzz = 26956.43
Moments of inertia: (grams*square millimeters)
Taken at the output coordinate system.
Ixx = 28468.77    Ixy = -1303.12    Ixz = 0.11
Iyx = -1303.12    Iyy = 34417.97    Iyz = 0.00
Izx = 0.11        Izy = 0.00        Izz = 29041.46
    
```

Рис. 3. Результаты расчетов по программе SolidWorks

Составим расчетную схему сегментного узла (рис. 4) и зададимся следующими параметрами:

$\omega = 800 \text{ с}^{-1}$ – угловая скорость вращения инструмента;
 $\varepsilon = 800 \text{ с}^{-2}$ – угловое ускорения инструмента в режиме разгона;
 $m = 0,2 \text{ кг}$ – масса подвижной части.

Во время разгона момент центробежной силы инерции, действующей на сегментный узел, в соответствии с расположением центра масс, стремится повернуть его по ходу часовой стрелки. Поэтому силы трения, предотвращающие этот поворот, должны быть направлены как указано на рисунке 4.

Предположим, что нормальное давление распределено пропорционально углу, составляемому направлением нормального усилия с горизонтальной осью. Задачу сведем к плоской, а направление результирующего нормального усилия определим интегрированием распределенной нагрузки по углу. Для упрощения расчетов пренебрежем некоторой асимметрией распределения нормальных реакций в правой и левой частях рисунка 4, т.е. будем полагать, что нормальные реакции N_1 и N_2 составляют с горизонтальной осью одинаковый угол φ в обеих частях рисунка. Вычисления показывают, что $\varphi \cong 10^\circ$. Нормальная Φ_n , касательная Φ_τ силы инерции и момент сил инерции относительно центра масс M_C^Φ определяются по известным соотношениям ($R = 0,05 \text{ м}$ – расстояние центра масс сегментного узла до оси вращения фрезы) [2]:

$$\Phi_n = ma_n = m\omega^2 R, \quad \Phi_\tau = ma_\tau = m\varepsilon R, \quad M_C^\Phi = I_{Czz}\varepsilon. \quad (1)$$

где a_n, a_τ – нормальное и касательное ускорение подвижной части инструмента, м/с^2 .

Составим в рамках принципа Даламбера [2] три уравнения динамического равновесия сегментного узла: суммы проекций сил на оси X, Y и сумму моментов сил относительно центра сферы, соответственно:

$$-\Phi_n \sin \psi - \Phi_\tau \cos \psi - F_{\text{тр}1} \sin \varphi - F_{\text{тр}2} \sin \varphi + N_2 \cos \varphi - N_1 \cos \varphi = 0, \quad (2)$$

где $F_{\text{тр}1}$ и $F_{\text{тр}2}$ – результирующие силы трения, действующие на ножедержатель со стороны опорных поверхностей 1 и 2, Н;

ψ – угол между линией, проходящей через центр тяжести сегментного узла и ось вращения фрезы, и вертикальной осью на рис. 4;

$$\Phi_n \cos \psi - \Phi_\tau \sin \psi + F_{\text{тр}1} \cos \varphi - F_{\text{тр}2} \cos \varphi - N_2 \sin \varphi - N_1 \sin \varphi = 0; \quad (3)$$

$$-x\Phi_n - y\Phi_\tau + (2/\pi)r(F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2}) + M_C^\Phi = 0, \quad (4)$$

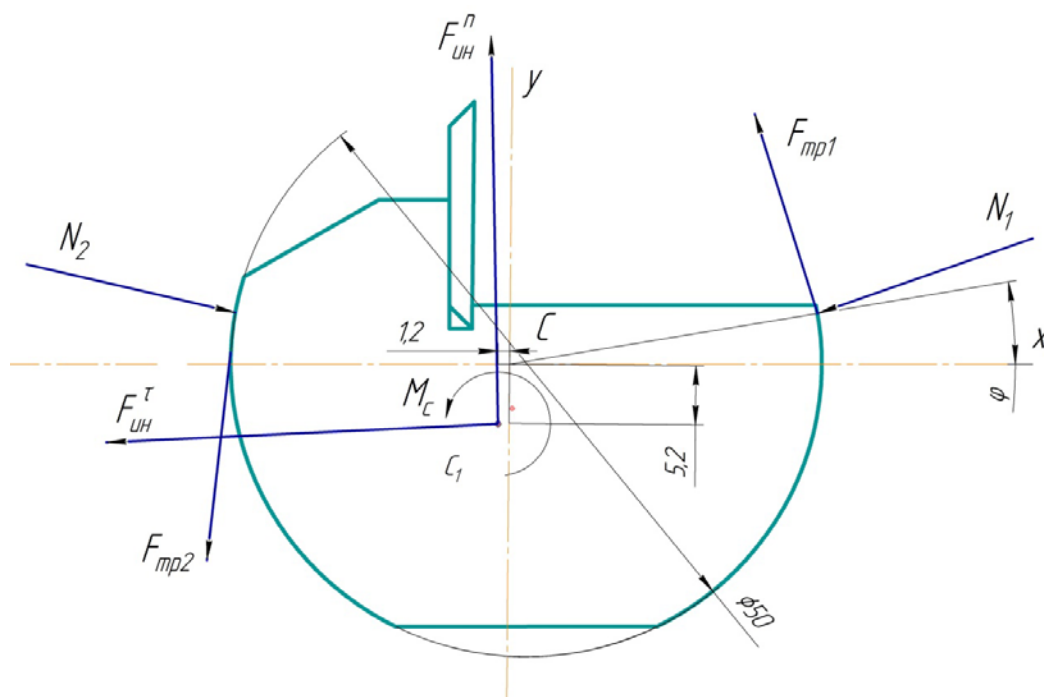


Рис. 4. Схема распределения сил, действующих на сегмент во время разгона фрезы

$R = 0,05$ м – расстояние от оси вращения фрезы до центра тяжести сегментного узла;

$r = 0,025$ м – радиус сферической поверхности сегментного узла;

$x = 0,00068$ м и $y = 0,00336$ м – плечи сил инерции относительно центра масс.

Отметим, что при переходе к плоской модели плечи сил трения относительно оси сферы изменяются от r до нуля, и интегрирование по угловой переменной приводит к появлению множителя $(2/\pi)$ в уравнении (4).

Решая задачу по методу предельного равновесия [2], т.е., полагая, что силы трения достигли своих предельных значений, определим минимальное значение коэффициента трения \bar{f} (для сокращения обозначений в последующих уравнениях фигурирует приведенный коэффициент трения f , отличающийся от действительного множителем $\pi/2$ согласно уравнению (5)), достаточное для обеспечения относительного равновесия сегментного узла в корпусе фрезы:

$$F_{\text{тр}j} = fN_j, \quad f = (2/\pi)\bar{f} \quad j = 1, 2, \quad (5)$$

где N_j – результирующая нормальная реакция опорной поверхности j , Н.

Используя уравнение (5) в уравнениях равновесия (2) и (3), перепишем последние в виде:

$$(N_2 - N_1) \cos \varphi - f(N_2 + N_1) \sin \varphi = \Phi_n \sin \psi + \Phi_\tau \cos \psi, \quad (6)$$

$$(N_2 + N_1) \sin \varphi + f(N_2 - N_1) \cos \varphi = \Phi_n \cos \psi - \Phi_\tau \sin \psi, \quad (7)$$

решение которых позволяет определить сумму нормальных реакций

$$N_1 + N_2 = \frac{\Phi_n(\cos \psi - f \sin \psi) - \Phi_\tau(\sin \psi + f \cos \psi)}{(1 + f^2) \sin \varphi}. \quad (8)$$

Подставляя полученный результат в уравнение (4) с использованием (5), приходим к уравнению

$$\frac{f}{1 + f^2} \frac{\Phi_n(\cos \psi - f \sin \psi) - \Phi_\tau(\sin \psi + f \cos \psi)}{\sin \varphi} r = x\Phi_n + y\Phi_\tau - M_C^\Phi, \quad (9)$$

которое сводится к квадратному уравнению относительно искомого минимально допустимого значения коэффициента трения

$$f^2 - 2bf + c = 0, \quad (10)$$

где b и c находим по следующим зависимостям:

$$b = \frac{1}{2B}(\varepsilon t^2 \cos \psi - \sin \psi), \quad c = \frac{1}{B} \left(\frac{x}{r} \varepsilon t^2 + \frac{y}{r} - \frac{J_C}{mrR} \right) \sin \varphi, \quad (11)$$

где J_C – момент инерции ножедержателя относительно точки C , кг·м²;

B – коэффициент, который находим по следующей зависимости:

$$B = \left(\frac{x}{r} \sin \varphi + \sin \psi \right) \varepsilon t^2 + \left(\frac{y}{r} - \frac{J_C}{mrR} \right) \sin \varphi + \cos \psi. \quad (12)$$

При получении записанных соотношений предполагалось, что разгон фрезы происходит равноускоренно $\omega = \varepsilon t$, $\varepsilon = \omega_{ном}/\tau$, τ – время разгона, $\omega_{ном}$ – номинальная угловая скорость вращения фрезы в установившемся режиме.

При положительных значениях коэффициентов b и c в качестве решения уравнения (10) следует принять

$$f = b - \sqrt{b^2 - c}. \quad (13)$$

На рис. 5 показана зависимость от времени минимально допустимого значения коэффициента трения \bar{f} , найденная по уравнению (13) (с учетом (5)), при различных угловых ускорениях на этапе разгона фрезы. Результаты расчетов показывают, что по мере увеличения угловой скорости (пропорционально времени) минимально допустимое значение коэффициента трения асимптотически стремится к пределу 0,0075, что значительно меньше коэффициента трения стали по стали (около 0,1).

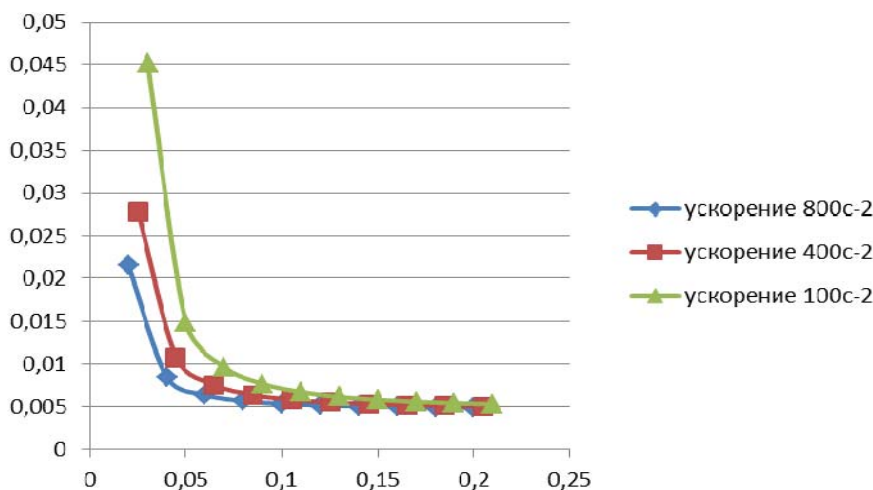


Рис. 5. График зависимости коэффициента трения f от времени t

При $b^2 < c$ действительные решения уравнения (13) отсутствуют и при $b^2 - c < 0$ (рис. 6) в предположении малости коэффициента трения его следует искать согласно выражению

$$f = \frac{c}{2b} = \frac{(x/r)\varepsilon t^2 + (y/r) - (J_c / mrR)}{|\varepsilon t^2 \cos \psi - \sin \psi|}. \quad (14)$$

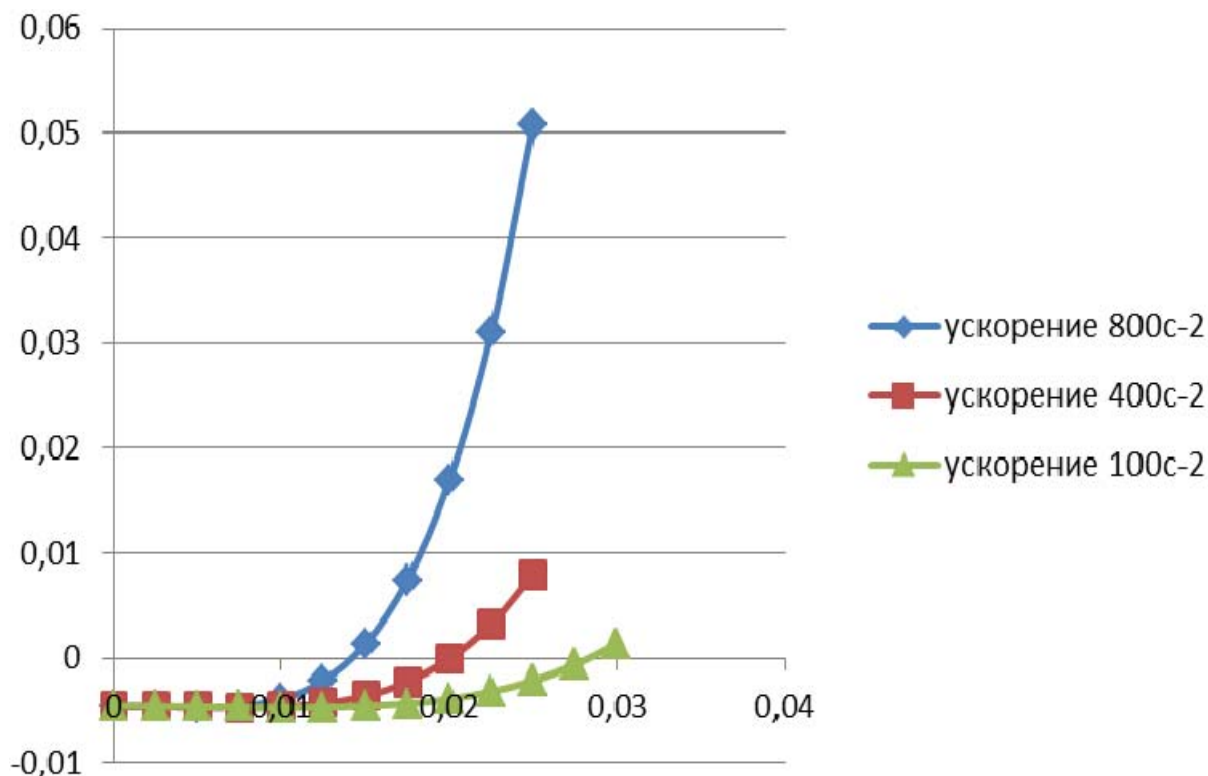


Рис. 6. График зависимости $b^2 - c$ от времени t

Отметим, что условие $b > 0$ выполняется для моментов времени

$$t > \sqrt{\operatorname{tg} \psi / \varepsilon}. \quad (15)$$

При меньших временах после начала разгона фрезы вследствие действия момента сил инерции M_c^Φ силы трения будут действовать противоположно указанным на рисунке 4 направлениям.

Поскольку решение уравнения (10) приводит к значениям коэффициента трения, значительно меньшим единицы, то можно пренебречь слагаемым f^2 в этом уравнении и для любых моментов времени определять коэффициент трения по соотношению (14).

Таким образом, для фиксации ножедержателя необходимо предусматривать механизм, предотвращающий в момент разгона смещение ножей относительно выставленных положений. Причем чем ниже угловая скорость разгона инструмента, тем больше времени требуется сдерживать ножедержатель от смещения относительно корпуса инструмента.

Выводы. В результате расчетов, была получена зависимость минимально допустимого коэффициента трения в процессе разгона фрезы. Полученные результаты

показали, что при не слишком малых временах с начала разгона коэффициент трения порядка 0,1, характерный для сопрягаемых стальных деталей, надежно обеспечивает фиксацию сегментного узла относительно корпуса фрезы. При малых временах возникающие силы инерции не велики, и для обеспечения фиксации узла достаточно использовать одно из простейших фиксирующих приспособлений, например, один или два винта небольшого сечения.

Библиографический список

1. Гришкевич А.А. Особенности фрезерного сборного инструмента с изменяемыми углами: передним и наклона режущей кромки // А.А. Гришкевич, А.Ф. Аникеев, В.Н. Гаранин // Труды БГТУ. – 2014. – Сер II (166): Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 175–177.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник [для вузов] / С.М. Тарг. – 12-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 416 с.

УДК 674.055

А.А. Гришкевич, О.И. Костюк

(БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь), dosy@belsty.by, olga_kostiuk13@mail.ru

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УДАЛЕНИЮ ПРОДУКТОВ РЕЗАНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ШКУРКИ

THE METHODOLOGY AND RESULTS OF RESEARCH ON DISPOSAL OF CUTTING PRODUCTS FROM THE SURFACE OF THE SANDPAPER

Статья описывает способ удаления продуктов резания с рабочей поверхности шлифовальной ленты во время ее работы за счет действия знакопеременной нагрузки. Предлагаемый способ будет способствовать увеличению периода стойкости инструмента и производительности процесса. В статье находит продолжение новое направление совершенствования процесса шлифования древесины. Его сущность состоит в удалении продуктов резания древесины с рабочей поверхности шлифовальной ленты во время ее работы, что определяет работоспособность шлифовального инструмента. По полученным результатам исследований установлено усилие, необходимое для удаления продуктов резания из пространства между зернами.

This article describes a method of removing products from the cutting work surface sanding belt during operation due to the effect of the alternating load. The proposed method will contribute to increasing tool life and productivity of the process. The article continued local-dit new direction of improving the grinding timber. Its essence is to remove the cutting of wood products from the working surface of the grinding tape during its work that defines the performance of the grinding tool. According to the results of studies found the force required to remove the cutting products in the space between the grains.

Шлифование отличается от пиления, фрезерования и других видов механической обработки тем, что оно выполняется при воздействии на древесину микролезвий –